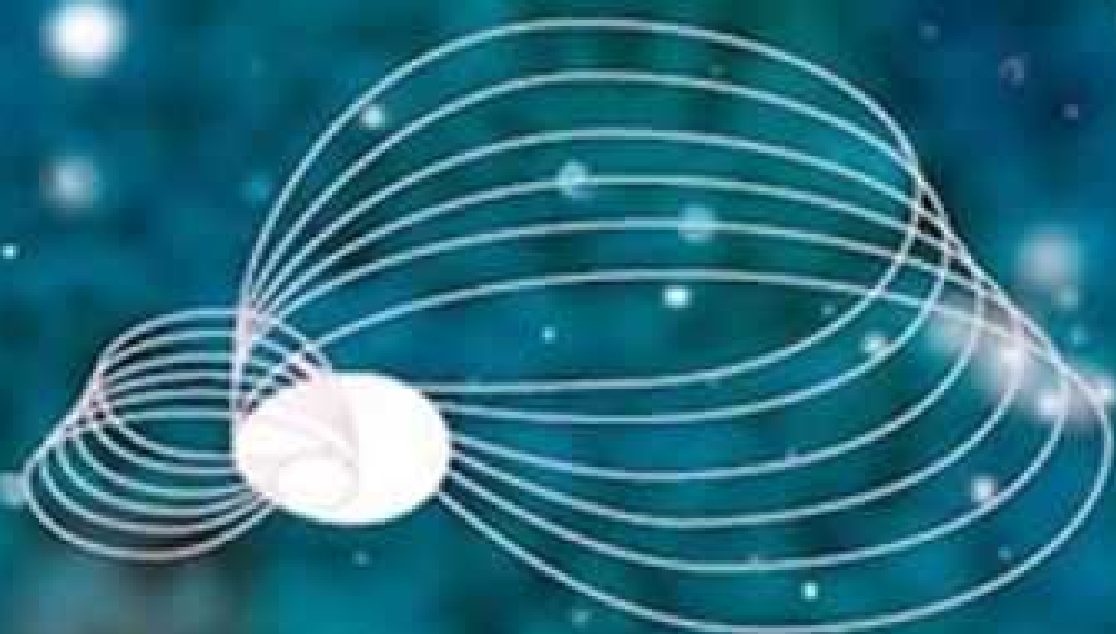


BRIAN
GREENE



SKRYTÁ
REALITA

PASEKA

NAKLADATELSTVÍ PASEKA

三才圖會

SKRYTÁ REALITA

PARALELNÍ VESMÍRY
A HLUBOKÉ
ZÁKONY KOSMU

NAKLADATELSTVÍ PASEKA

PŘELOŽIL LUBOŠ MOTL

Copyright © 2011 by Brian R. Greene
All rights reserved
Translation © Luboš Motl, 2012

ISBN 978-80-7432-205-1
ISBN 978-80-7432-271-6 PDF

Věnováno Alecovi a Sophii

Předmluva

Pokud před sto lety byly ještě nějaké pochyby, na počátku 21. století to už byla hotová věc: snažíme-li se odhalit opravdovou povahu reality, každodenní zkušenost nás klame. Zamyslíme-li se nad tím, nebudeme vlastně ani nijak překvapeni. Pro naše předky, kteří sbírali plody v lesích a lovíli zvěř ve stepích, nebyla schopnost předpovídat kvantové chování elektronů nebo určovat kosmologické důsledky černých děr tím podstatným, co by mohlo zvýšit naději na přežití. Větší mozek na druhé straně nebyl k zahození a spolu s tím, jak rostla naše intelektuální šikovnost, rozšiřovala se i naše kapacita prozkoumávat okolí stále hlouběji. Někteří zástupci našeho druhu zkonstruovali nástroje, jimiž prodloužili dosah svých smyslů; další se cvičili v systematické metodě, s níž lze zaznamenat a vyjádřit jakékoli pravidelnosti – tedy v matematice. S těmito nástroji jsme začali nahlížet pod povrch každodenních dojmů.

Co jsme našli, nás už přimělo značně pozměnit názory na vesmír. Prováděli jsme pokusy i pozorování, jimiž jsme ověřovali svá očekávání a které nás vedly ke stále hlubšímu fyzikálnímu porozumění světu, vyjadřovanému se stále větší matematickou precizností. Tak jsme už prokázali, že prostor, čas, hmota a energie mají v repertoáru způsoby chování, které se nepodobají ničemu, čeho byl kdokoli z nás kdy přímým svědkem. A právě teď nás pronikavé rozbory těchto a souvisejících objevů přivádějí k něčemu, co může otřást naším chápáním světa znovu a od základu: k možnosti, že náš vesmír není jediným vesmírem. Předkládaná kniha by ráda tuto možnost prozkoumala.

Pustil jsem se do jejího psaní, aniž bych od čtenáře očekával odborné znalosti matematiky nebo fyziky. Místo toho jsem se, stejně jako ve svých předchozích knihách, rozhodl pro metafory a analogie, opepřené historickými příhodami, abych mohl nabídnout srozumitelné vysvětlení nejnovějších poznatků moderní fyziky, které – pokud by byla dokázána jejich správnost – by patřily mezi ty nejpodivnější a prozradily by nám o světě nejvíce. Nejedna pojem nebo myšlenka v této knize donutí čtenáře vzdát se pohodlných myšlenkových schémata a smířit se s nepředvídatelnými oblastmi reality. Vydáme se totiž po stejné cestě, jakou kráčela i historie vědy. Tato cesta je doslova poseta neočekávanými kličkami a objíždkami, z nichž vědci čerpali jak nadšení, tak

i ponaučení. Pečlivě jsem z těchto kliček a objížděk vybíral, aby i čtenář mohl pohodlně přejít přes údolí a propasti v krajině vědění a z každodenních koutů této krajiny pronikl až do oblastí zcela neznámých a exotických.

Na rozdíl od mých předchozích knih jsem vynechal úvodní kapitoly, které systematicky vysvětlovaly základní učivo, do něhož patří speciální i obecná teorie relativity nebo kvantová mechanika. Místo toho jsem se ve většině případů rozhodl představovat nové pojmy „podle potřeby“; pokud jsem na několika místech došel k závěru, že pro srozumitelnost knihy je žádoucí, abych určitou problematiku rozebral v poněkud úplnějším světle, zkušenějšího čtenáře předem upozorním na to, že určitou podkapitolu může bez potíží přeskočit.

V kontrastu s tím se poslední stránky několika kapitol postupně promění v poněkud pokročilejší zpracování problematiky, které může některým čtenářům připadat obtížné. Jakmile se k těmto partiím přiblížíme, nabídnu méně poučenému čtenáři krátké shrnutí a navrhnou mu, jakou část textu může přeskočit, aniž by ztratil souvislosti. Nicméně každému doporučuji, aby se snažil proniknout tak daleko, jak mu to jeho zájem a trpělivost dovolí. Byť je obsah těchto partií komplikovanější, zvolená forma je optimalizovaná pro široké publikum; jedinou nezbytnou podmínkou úspěchu tedy zůstává čtenářova vytrvalost.

S poznámkami na konci knihy je to jinak. Čtenář-nováček je může přeskočit zcela; zkušenější čtenář v nich ovšem najde vyjasnění a rozšíření hlavního textu, jež považuji za důležitá, ale která by v hlavním textu působila únavně. Řada poznámek je určena čtenářům, kteří prošli nějakou formální výukou matematiky a fyziky.

Při psaní *Skryté reality* jsem těžil z kritických komentářů a zpětné vazby, jež mi nabídla řada přátel, kolegů a rodinných příslušníků, kteří si přečetli některé kapitoly nebo i celou knihu. Obzvláště rád bych poděkoval Davidu Albertovi, Tracy Dayové, Richardu Easterovi, Ritě Greeneové, Simonu Judesovi, Danielu Kabatovi, Davidu Kaganovi, Paulu Kaiserovi, Raphaelu Kasperovi, Juanu Maldacenovi, Katince Matsonové, Mauliku Parikhovi, Marcusi Poeselovi, Michaelu Popowitsovi a Kenu Vinebergovi. Je vždycky radost pracovat s Martym Asherem, mým redaktorem v Knopfu, a děkuji Andrewovi Carlsonovi za jeho manažerský dohled nad knihou v závěrečných stádiích výroby. Báječným ilustracím talentovaného a trpělivého Jasona Severse vděčím za zcela nový rozměr mého výkladu. Mám i to potěšení poděkovat svým literárním agentům, Katince Matsonové a Johnu Brockmanovi.

Když jsem si v hlavě rovnal, jak co nejlépe přistoupit k materiálu, na nějž se tato kniha soustřeďuje, značně mi pomohly nesčíslné rozhovory s dlouhou řadou kolegů. Kromě těch, o nichž jsem se už zmínil, bych rád výslovně poděkoval i Raphaelu Boussovi, Robertu Brandenbergerovi, Frederiku Denefovi, Jacquesu Distlerovi, Michaelu Douglasovi, Lamu Huiovi, Lawrenci Kraus-

sovi, Janně Levinové, Andreji Lindemu, Sethu Lloydovi, Barrymu Loewerovi, Saulu Perlmutterovi, Jürgenu Schmidhuberovi, Steveu Shenkerovi, Paulu Steinhardtovi, Andrewovi Stromingerovi, Leonardu Susskindovi, Maxi Tegmarkovi, Henrymu Tyeovi, Cumrunu Vafovi, Davidu Wallaceovi, Ericku Weinbergovi a Shing-Tung Yauovi.

Svou první populárně-vědeckou knihu, *Elegantní vesmír*, jsem začal psát v létě 1996. Následujících patnáct let jsem se těšil z neočekávané a tvořivé souhry mezi tématy, na které se soustřeďuje můj odborný výzkum, a otázkami, které se řeší v mých knihách. Děkuji svým studentům a kolegům na Columbijské univerzitě za to, že vytvořili plodné prostředí k výzkumu, americkému ministerstvu energetiky, které můj vědecký výzkum financovalo, a také nedávno zesnulému Penttimu Kourimu za jeho štědrrou podporu mého bádání na columbijském Ústavu pro struny, kosmologii a astročásticovou fyziku.

Nakonec děkuji i Tracy, Alecovi a Sophii – za to, že z tohoto vesmíru pro mě udělali ten nejlepší mezi všemi možnými vesmíry.

Kapitola první

Hranice reality

O paralelních světech

Kdyby bývalo v době mého dětství můj pokoj zdobilo jen jediné zrcadlo, moje dětské sny se mohly ubírat zcela jiným směrem. Ale v pokoji mi visela hned zrcadla dvě. A každé ráno, když jsem skříň otevřel, abych si vyndal oblečení, se zrcadlo zabudované do dveří skříně srovnalo se zrcadlem na stěně a obě vytvořila zdánlivě nekonečnou posloupnost odrazů všech objektů umístěných mezi nimi. A to mě fascinovalo. Radoval jsem se z každého nového obrazu, který vyvstal na skleněných rovinách a jako by pokračoval tak daleko, kam až oko dohlédlo. Všechny odrazy se zdánlivě pohybovaly v souhře – ale, jak jsem věděl, pouze kvůli omezením daným lidskému vnímání; už v mladém věku jsem se dozvěděl o konečné rychlosti světla. V mysli jsem si tedy představoval, že moje oko sleduje zpáteční cesty světelných paprsků. Škubnutí hlavou i upažení ruky mezi zrcadly vyvolávaly tiché ozvěny a každý obraz jako by popoháněl svého souseda. Někdy jsem si představoval neuctivou kopii sebe sama, která kdesi v hloubi obrazů odmítne napodobovat svého předchůdce, aby tak rovnoměrný přenos pohybu přerušila a vytvořila novou realitu pro celou řadu následujících kopií. O školních přestávkách jsem si občas představoval, jak světlo, které jsem toho rána vyslal, donekonečna létá mezi oběma zrcadly, a často jsem se v myšlenkách připojoval k jednomu z Brianů ze zrcadla a vstupoval do imaginárního paralelního světa, světa vzešlého ze světla a poháněného fantazií.

Aby nedošlo k nedorozumění: odražené obrazy nemají vlastní duši nebo vědomí. Přesto tyto mladické rozlety fantazie, včetně jejich paralelních realit žijících pouze v naší představivosti, rezonují se stále významnějším tématem dnešní vědy – s možností, že mimo náš svět existují i světy další. Tato kniha je výpravou do těchto jiných světů a promyšlenou expedicí do říše vědy o paralelních vesmírech.

Vesmír a vesmíry

Bývaly doby, kdy „vesmír“ znamenal „vše, co existuje“. Všechno. Se vším všudy. Představa o více než jednom vesmíru, o více než jednom „všem“, vypadá jako

jeden velký protimluv. A přesto posloupnost teoretických zvratů postupně zpřesnila interpretaci slova „vesmír“. Význam tohoto slova teď závisí na kontextu. Někdy slovem vesmír míníme úplně všechno. Jindy se zase toto slovo vztahuje jen k těm částem všehomíra, do nichž mají bytosti jako já nebo vy alespoň v principu přístup. Někdy se tímto slovem označují oblasti oddělené – buď částečně, nebo zcela – a k tomu dočasně nebo trvale nedostupné pro smrtelníky; v tomto smyslu toto slovo odsuzuje náš vesmír k tomu, stát se řadovým členem velkého, možná i nekonečně velkého kolektivu.

Spolu s tím, jak se oslaboval jeho monopol, uvolňoval „vesmír“ cestu dalším příbuzným slůvkům, která jsou užitečná pro rozpravy o větším plátnu, na němž může být realita ve své úplnosti namalována. *Paralelní světy, paralelní vesmíry, mnohočetné vesmíry, alternativní vesmíry* nebo *multivesmír, multiverzum, megaverzum, metaverzum* – všechna tato synonyma mohou kromě našeho vesmíru označovat i další vesmíry, které „kdesi tam“ existují.

Určitě jste si všimli, že jde o pojmenování poněkud matná a nepřesná. Co přesně představuje svět nebo vesmír? Jakými kritérii lze odlišit oblasti, jež jsou jednotlivými součástmi jednoho vesmíru, od těch, které lze považovat za plnohodnotné vesmíry samy o sobě? Někdy v budoucnosti možná naše chápání mnohočetných vesmírů pokročí natolik, že budeme schopni na tyto otázky precizně odpovědět. Než abychom se ale v knize potýkali s abstraktními definicemi, zvolíme strategii, s níž americký nejvyšší soudce Potter Stewart definoval pornografii. Zatímco Nejvyšší soud USA usiloval o její standardní definici, Stewart prohlásil: „Co to je, vím, jakmile ji spatřím.“

Koneckonců to, zda jednu nebo druhou oblast označíme za paralelní vesmír, je pouze jazyková jemnostka. To podstatné, o co jde a co je jádrem celého problému, je otázka, zda vůbec oblasti, které se přiči konvenčním představám, existují, protože z jejich existence plyne, že to, co jsme dlouho nazývali *tím jediným* vesmírem, je pouze jednou složkou daleko impozantnější, možná daleko podivnější a snad i skryté reality.

Odrůdy paralelních světů

Pozoruhodnou skutečností (která mě částečně inspirovala k napsání této knihy) je, že řada důležitých vývojových kroků ve fundamentální teoretické fyzice – relativistická fyzika, kvantová fyzika, kosmologická fyzika, fyzika sjednocení všech sil a výpočetní fyzika – nás přivedla k tomu, abychom přemýšleli o různých odrůdách paralelních vesmírů. A tak je každá z následujících devíti kapitol jedním malým kouskem ve velké skládance, kouskem, který vyjasňuje jednu variaci na téma multivesmíru. Každá z nich představuje náš vesmír jako část neočekávaně většího celku, ale zevnějšek takového celku i povaha „členských“ vesmírů se od sebe v těch devíti případech zásadně odlišují. V některých představách jsou paralelní vesmíry od nás odděleny obrovitými

úseky prostoru a času; v dalších se vznášejí milimetry od nás; v ještě jiné skupině ztrácí přízemní otázka po jejich poloze jakýkoli smysl. Podobně pestré jsou i zákony, jimiž se tyto paralelní vesmíry řídí. V některých z nich panují stejné zákony jako u nás; v jiných platí zákony odlišné, ale sdílející s těmi našimi společný původ; a úplně jinde platí zákony, které se vzhledem a strukturou odlišují od všeho, s čím jsme se dosud setkali. Člověka pokořuje a zároveň i vzrušuje představa, jak rozsáhlá realita může být.

První vědecké expedice do paralelních světů započaly v padesátých letech 20. století; tehdy se badatelé pokoušeli vyřešit určité záhady kvantové mechaniky, teorie, jež měla vysvětlit události odehrávající se v říši atomů a subatomárních částic. Kvantová mechanika se vymanila z okovů předchozí kostry fyziky, takzvané klasické mechaniky, důkazem, že vědecké předpovědi mají nutně pravděpodobnostní ráz. Můžeme předpovědět naději, že v dané situaci dospějeme k jednomu nebo druhému výsledku, ale obecně předpovědět, který z těchto výsledků skutečně nastane, nemůžeme. Toto dobře známé odchýlení se od staletí vědeckého uvažování je překvapením samo o sobě. Kvantová mechanika se však vyznačuje i dalším zapeklitým aspektem, jež si lidé už tolik nevšimnou. Navzdory desetiletím pečlivých rozborů kvantové mechaniky a poté, co se nashromáždilo ohromné množství dat potvrzujících její pravděpodobnostní předpovědi, nedokázal ještě nikdo vysvětlit, proč nakonec z možných výsledků v každé situaci nastane jen jediný. Když provádíme experimenty a zkoumáme svět, všichni souhlasíme, že prožíváme jedinou a zcela určitou realitu. A přesto více než sto let po začátku kvantové revoluce ještě světová fyzika nedospěla ke shodě, pokud jde o vysvětlení, proč je tento základní fakt slučitelný s matematickými rovnicemi kvantové teorie.

V průběhu let se tuto záhadu snažil objasnit ne jeden tvořivý nápad, ale ten nejvíce šokující z nich byl paradoxně navržen už mezi prvními. Podle této klasické představy, tkví jádro problému v tom, že náš předpoklad, že každý experiment má jen jeden výsledek, je chybný. Matematika v základech kvantové mechaniky – nebo přinejmenším jeden způsob, jak na ni nahlížet – naznačuje, že se *všechny* možné výsledky odehrávají někde, totiž ve svém vlastním, odděleném vesmíru. Předpovídá-li kvantový výpočet, že se nějaká částice může objevit tady, nebo naopak tam, potom se v jednom vesmíru *vynoří* tady, zatímco v jiném se *objeví* tam. A v každém takovém vesmíru žije kopie vás samotných, která si – chybně – myslí, že její realita je tou jedinou. Jakmile doceníme, že kvantová mechanika ovládá všechny fyzikální procesy, od slučování jader atomů uvnitř Slunce až k vyslání signálů mezi nervovými buňkami, na něž lze zredukovat naše myšlenky, začne být jasná dalekosáhlost důsledků představy o paralelních vesmírech. Podle této představy nezůstane žádná cesta nevyzkoušena. A přesto každá cesta – každá realita – zůstává skrytá před všemi ostatními.

Tato provokující interpretace kvantové mechaniky v řeči *mnoha světů* vzbudila v posledních desetiletích hodně zájmu. Výzkum však ukázal, že jde o ošemetný a choulostivý přístup k fyzice (jak uvidíme v 8. kapitole), a tak dodnes, po více než půlstoletí prověřování, vyvolává tato hypotéza polemiku. Zatímco někteří praktici kvantové mechaniky tvrdí, že její správnost už byla dokázána, další stejně sebejistě prohlašují, že její matematické základy stojí na písku.

Nehledě na nejistotu ohledně vědecké správnosti, rezonovala tato raná odrůda paralelních vesmírů s tématy oddělených civilizací nebo alternativních historií, která umělecky zpracovala díla literární, televizní a filmová. Kosmologie paralelních vesmírů inspiruje kreativní umělce dodnes. (Už od dětství řadím ke svým oblíbeným *Čaroděje ze země Oz*, *Život je krásný*, epizodu *Star Trek*u nazvanou „Město na pokraji věčnosti“, příběh Jorgeho Borgese „Zahrada, v které se cestičky rozvětvují“ a v nedávné době „Srdcovou sedmu“ a film *Lola běží o život*.) Ve svém souhrnu pomohla tato a další díla masové kultury integrovat představu o paralelních realitách do ducha doby a stala se z velké části zodpovědnou za vášnivý zájem veřejnosti o toto téma. Kvantová mechanika je však jen jedním z mnoha způsobů, jimiž moderní fyzika vdechuje život pojmu „paralelní vesmír“. Vlastně to ani nebude ten první způsob, o němž budu mluvit.

V 2. kapitole se vydáme jinou cestou vstříc paralelním vesmírům, a to cestou možná nejjednodušší. Uvidíme, že pokud se prostor rozléhá donekonečna – a tento předpoklad je slučitelný se všemi pozorováními a je součástí kosmologického modelu, jemuž dává mnoho fyziků a astronomů přednost –, potom kdesi daleko (pravděpodobně *sakramentsky* daleko) musejí existovat oblasti, kde se kopie vás, mě a všech ostatních radují z alternativních verzí reality, kterou zažíváme zde. A 3. kapitola zavítá hlouběji do kosmologie: inflační teorie, tedy přístup, který předpokládá ohromnou explozi superrychlého rozpínání prostoru v nejranějších okamžicích života vesmíru, vytváří svou vlastní verzi paralelních světů. Je-li inflační teorie správná, jak to nejrafinovanější astronomická pozorování naznačují, potom exploze, z níž vzešla ta oblast prostoru, kterou obýváme, nemusela být tou jedinou. Inflační rozpínání může naopak právě v tuto chvíli ve vzdálených končinách prostoru plodit jeden vesmír za druhým a může v tom pokračovat navěky. Každý z těchto nafukujících se vesmírů má navíc svůj vlastní nekonečný objem, a proto obsahuje nekonečně mnoho paralelních světů z 2. kapitoly.

Ve 4. kapitole se naše cesta stočí k teorii strun. Po krátkém shrnutí základů přehledněme současný stav tohoto plánu, jak sjednotit všechny přírodní zákony. S takto získaným nadhledem pak v 5. a 6. kapitole prozkoumáme nedávné objevy v teorii strun, podle nichž mohou existovat tři nové typy paralelních světů. Jedním z nich je scénář *bránových světů*, scénář, který předpokládá, že náš vesmír je jednou „deskou“, která se vedle případných dalších

„desek“ vznáší ve vícerozměrném prostoru podobně jako krajíc chleba v mnohem rozsáhlejší rozkrájeném kosmickém bochníku.¹ Bude-li nám přát štěstí, pak správnost této domněnky zaručí, že Velký hadronový srážec (LHC) u švýcarské Ženevy zachytí v nepříliš vzdálené budoucnosti stopy tohoto bochníku. Druhá z nových odrůd paralelních světů předpokládá speciální bránové světy, které po srážce s dalšími zničí veškerou hmotu v nich obsaženou a ohnivým peklem připomínajícím velký třesk započnou v každém z nich novou etapu vývoje. Třetí scénář postuluje „krajinu“ podle teorie strun, odvozenou od nesmírné různorodosti možných tvarů a velikostí dodatečných prostorových rozměrů, které z teorie vyplývají. Uvidíme, že ve spolupráci s inflačním multivesmírem naznačuje strunová krajina existenci obří sbírky vesmírů, v níž je realizován každý možný tvar dodatečných rozměrů.

V 6. kapitole se soustředíme na to, jak tyto úvahy objasňují jeden z nejpřekvapivějších výsledků pozorování na sklonku 20. století: že prostor, jak se zdá, je vyplněn homogenní a rozptýlenou odrůdou energie, která by mohla být ztělesněním Einsteinovy nechvalně známé kosmologické konstanty. Toto pozorování, jímž se nechala inspirovat značná část nedávného výzkumu paralelních vesmírů, je zároveň i rozbuškou vedoucí k jedné z nejemocionálnějších debat za poslední desetiletí. Šlo v ní o charakter vysvětlení, která lze přijmout jako vědecká. A 7. kapitola spojí toto téma s obecnější otázkou, zda úvahy o vesmírech, které se nalézají vně vesmíru nám známého, lze právoplatně považovat za vědní disciplínu. Lze tyto myšlenky ověřovat? A pokud nám tyto ideje poslouží k vyřešení otevřených otázek fyziky, učinili jsme nějaký opravdový pokrok, nebo jsme pouze zametli problémy pod kosmický koberec, kam se „naštěstí“ nikdo nemůže dostat? Snažil jsem se obnažit podstatu těchto konfliktních postojů, ale zároveň jsem představil i svůj vlastní pohled, podle něhož za jistých okolností nesporně paralelní vesmíry do kompetencí vědy náleží.

Kvantová mechanika se svou verzí paralelních vesmírů ve formě mnoha světů je tématem 8. kapitoly. Ta stručně připomene podstatné rysy kvantové mechaniky a hned poté se soustředí na problém, který nahání hrůzu největší: jak získat jednoznačné výsledky z teorie, jejíž základní kostra umožňuje vzájemně neslučitelným realitám koexistovat v amorfnní, byť matematicky precizní mlze. Poctivě vás provedu úvahami, které ve snaze o odpověď zakotvují kvantovou povahu reality ve své vlastní hojnosti paralelních světů.

V 9. kapitole vás zavedu ještě hlouběji do kvantové reality, k něčemu, co považuji za tu nejpodivnější ze všech verzí paralelních vesmírů. K domněnce, která se postupně vynořila během třiceti let teoretických rozborů kvantových vlastností černých děr. Tato představa dosáhla svého vrcholu v posledních deseti letech v jednom ohromujícím výsledku strunové teorie, z něhož plyne, že všechny naše vjemy a zážitky nejsou ničím jiným než holografickou projekcí procesů, které se ve skutečnosti odehrávají na nějakém vzdáleném povrchu,

který nás obklopuje. Štípnete-li se, ucítíte bolest jako opravdovou, ale přesto půjde jen o odraz paralelního děje odehrávajícího se v odlišné a vzdálené realitě.

Nakonec – v 10. kapitole – si posvítíme na ještě imaginárnější možnost: na to, že hlavní úlohu hrají vesmíry umělé. K tomu se nejprve budeme muset vypořádat s otázkou, zda nám vůbec fyzikální zákony dávají moc nové vesmíry vytvářet. A hned nato se podíváme na hypotetické vesmíry, které nebyly vytvořeny z „hardwaru“, ale ze „softwaru“ – vesmíry, které lze simulovat na superpokročilém počítači –, a prozkoumáme, zda máme důvod věřit, že my sami nežijeme v simulaci někoho (nebo něčeho) jiného. Tím se dostaneme k odrůdě paralelních vesmírů zrodilých se v myslích filozofů a neomezené téměř ničím: podle této představy je každý možný vesmír realizován někde uvnitř něčeho, co je nezbytně nejvelkolepějším ze všech multivesmírů. A tak se výklad přirozeně stočí k rozjímání o tom, jakou roli hraje matematika při odkrývání záhad vědy, a nakonec i k tomu, zda máme naději, že realitě budeme rozumět stále lépe.

Kosmický řád

Problematika paralelních vesmírů je vysoce spekulativní. Žádné pozorování ani experiment dosud neprokázaly, že by kterákoli z verzí této myšlenky byla v přírodě realizována. Skutečným cílem této knihy proto není přesvědčit vás o tom, že jsme součástí multivesmíru. Sám nejsem přesvědčen – a obecně řečeno, nikdo by neměl být přesvědčen – o ničem, co nelze podložit nezpochybnitelnými daty. Jedním dechem však hned dodávám, že za zvláštní a snad i přesvědčivé považuji, že téměř každá větev moderního fyzikálního pokroku, je-li studována do dostatečné hloubky, nakonec narazí na některou z variant myšlenky o paralelních vesmírech. Není to tedy tak, že by fyzici drželi v rukou napjatou multivesmírnou síť a čekali, až se do ní chytí jakákoli teorie, a pak ji vymodelovali a zasadili do paradigmatu paralelních vesmírů, ať to stojí, co to stojí. Naopak bychom mohli říct, že všechny scénáře paralelních světů, jimž se budeme vážně věnovat, přirozeně vyplnou z matematiky teorií rozvinutých za účelem popisu skutečných experimentálních dat a pozorování.

Mým cílem tedy bude jasně a stručně předvést intelektuální kroky a poslouposti teoretických poznatků, které přivedly fyziky k myšlence vzít z mnoha úhlů pohledu vážně možnost, že náš vesmír může být jen jedním z mnoha. Chci, abyste získali cit pro to, jak moderní vědecké bádání – a nikoli nespoutané fantazie o zrcadlech v dobách, kdy jsem byl chlapcem – přirozeně vede k této ohromující možnosti. Věřím, že ukážu, jak se jistá, jinak ale zapeklitá pozorování mohou stát dokonale srozumitelnými v rámci jednoho nebo druhého multivesmírného paradigmatu, a zároveň popíšu i klíčové a dosud nevyřešené otázky, které zatím mohou bránit tomu, aby tento přístup k realitě

naplno ukázal svou schopnost vysvětlovat záhady světa. Byl bych rád, kdybyste po přečtení této knihy měli pocit, že se váš smysl pro to, kde končí realita – a kam až může dohlédnout moderní věda –, obohatil a zároveň i oživil.

Někteří z vás se samotného pojmu paralelních světů zaleknou v obavě, že jsme-li součástí multivesmíru, pak náš domov a naše důležitost ve vesmíru ztrácejí na významu. Já si to nemyslím. Nepřipadá mně rozumné měřit význam podílem na objemu. Spíše vidím jeden z nejspokojivějších rysů lidskosti a jeden z nejvíce vzrušujících důsledků vědeckého výzkumu v něčem jiném: ve schopnosti přemostit se analytickým myšlením přes obří vzdálenosti, dostat se do prostoru vnějšího i vnitřního a – prokážou-li se některé myšlenky z této knihy jako pravdivé – dostat se i mimo náš vesmír. Je to právě naše hluboké porozumění světu, které jsme nabyli navzdory své samotářské poloze uprostřed tichého, mrazivého, černočerného a hrůzu nahánějícího vesmíru, jež vyvolává ozvěny napříč ohromným objemem reality a je znamením našeho příchodu na svět.

Kapitola druhá

Bezedný sklad dvojníků

Sešíváný multivesmír

Kdybyste se vydali hlouběji do vesmíru a cestovali stále dál a dále, zjistili byste, že prostor pokračuje donekonečna, nebo že někde náhle končí? Nebo byste snad obkroužili vesmír a vrátili se do stejného bodu, jak to udělal sir Francis Drake, když obeplul zeměkouli? Obě možnosti – jak vesmír, který se rozpíná donekonečna, tak i ten obrovský, ale konečný – jsou slučitelné se všemi pozorováními a obě se několik posledních desetiletí staly předmětem zájmu důkladného studia vůdčích badatelů. Navzdory tomu všemu zkoumání má však varianta nekonečného vesmíru jeden závrtný důsledek, kterému se dostalo jen poměrně skromné pozornosti.

Představte si, že v dalekých končinách nekonečného vesmíru existuje galaxie, která vypadá stejně jako Mléčná dráha a obsahuje sluneční soustavu, jež jako by z oka vypadla té naší a hostí planetu, která je duplikátem Země, a na ní dům nerozlišitelný od toho vašeho a obývaný bytostí, která vypadá přesně jako vy, právě čte tuto knihu a představuje si, jak se blížíte ke konci této věty kdesi v daleké galaxii. A taková kopie není ve vesmíru jen jedna. V nekonečném vesmíru je jich nekonečně mnoho. V některých z nich váš dvojník nebo dvojnice právě čte tuto větu současně s vámi. V jiných přeskočil(a) kus textu nebo odložil(a) knihu, aby se občerstvil(a). A v úplně jiných má zase tak mizernou náladu, že byste se s ním nebo s ní nechtěli setkat v nějaké temné aleji.

A to si pište, že ani nesetkáte. Tyto vaše kopie by obývaly oblasti natolik vzdálené, že by ani světlo za celou dobu, která nás dělí od velkého třesku, nemělo dostatek času překlenout obří prázdnotu prostoru, která vás odděluje. Nevládne sice schopností tyto oblasti pozorovat, ale uvidíme, že ze základních fyzikálních principů plyne, že je-li vesmír nekonečně velký, stal se domovem nekonečně mnoha paralelních světů, z nichž některé jsou totožné s tím naším, jiné se od něho liší a ještě další se našemu světu nepodobají ani vzdáleně.

Na cestě k těmto světům musíme nejdříve pochopit podstatné pojmy kosmologie, vědecké disciplíny studující původ a vývoj vesmíru jako celku.

Tak se do toho pustme.

Otec velkého třesku

„Vaše matematika je správná, zato vaše fyzika je opovrženíhodná.“ Solvayská konference o fyzice v roce 1927 byla v plném proudu, když takto Albert Einstein zareagoval na informaci Belgičana George Lemaîtrea o tom, že z rovnic obecné relativity, které Einstein sepsal o více než deset let dříve, plyne dramatická revize příběhu o stvoření světa. Podle Lemaîtreových výpočtů začal vesmír svůj život jako malinké zrnko nesmírné hustoty neboli „prvotní atom“, jak mu říkal, který ohromně dlouhou dobu bobtnal, až se nakonec změnil v pozorovatelný vesmír.

Mezi desítkami slavných fyziků byl Lemaître zajímavou postavou, podobně jako sám Einstein, který si vyjel do bruselského hotelu Metropole na týden intenzivních debat o kvantové teorii. Do roku 1923 stačil Lemaître nejen získat doktorát, ale i zakončit studia v jezuitském semináři svatého Rumbolda a být vysvěcen na kněze. V průběhu konference přistoupil, s kolárkem na správném místě, k objeviteli rovnic, které se – jak věřil – staly základem nové vědecké teorie o původu vesmíru. Einstein o Lemaîtreově teorii věděl, článek, jenž se těmto otázkám věnoval, četl o několik měsíců dříve, a v Lemaîtreových manipulacích s rovnicemi obecné relativity nemohl najít žádnou chybu. Nakonec to nebylo poprvé, co někdo Einsteinovi tento výsledek ukázal. V roce 1921 dospěl ruský matematik a meteorolog Alexandr Fridman k celé množině řešení Einsteinových rovnic, podle nichž se prostor rozpínal a vesmír zvětšoval. Einstein, který měl k takovým řešením odpor, nejdříve naznačil, že se Fridmanovy výpočty utápějí v moři chyb. V tom se Einstein mýlil a později své tvrzení odvolal. Pěšákem ve službách matematiky však odmítal být i poté. Před rovnicemi dal přednost vlastní intuici o tom, jak by se vesmír *měl* chovat, a hluboce zakořeněné víře, že vesmír existuje věčně a na nejdelších měřítkách je pevný a neměnný. Pokáral Lemaîtrea a pravil, že vesmír se nerozpíná a ani to nikdy nedělal.

O šest let později Einstein soustředěně sledoval řečníka v přednáškové místnosti kalifornské observatoře Mount Wilson. Lemaître tehdy předkládal podrobnější verzi své teorie o tom, že vesmír začal prvotním zábleskem a že galaxie jsou hořícími doutnajícími uhlíky unášenými nafukujícím se mořem prostoru. Jakmile seminář skončil, Einstein povstal a prohlásil Lemaîtreovu teorii „nejkrásnějším a nejspokojivějším vysvětlením stvoření, jaké kdy slyšel“.¹ Nejslavnější fyzik dospěl k rozhodnutí změnit názor na jednu z nejnáročnějších záhad světa. A Lemaître, stále neznámý v očích široké veřejnosti, si mezi vědci vydobyl přízvisko otce velkého třesku.

Obecná relativita

Kosmologické teorie rozpracované Fridmanem a Lemaîtreem stavěly na rukopisu, který Einstein zaslal do německých *Annalen der Physik* 25. listopadu

1915. Tímto článkem vyvrcholila jeho téměř desetiletá matematická odysea a výsledky, k nimž dospěl – obecná teorie relativity – lze považovat za jeho nejúplnější a nejdalekosáhlejší vědecký výdobytek. Ve své obecné teorii relativity Einstein elegantním geometrickým jazykem od základu přestavěl naše porozumění gravitaci. Jestliže se už cítíte obeznámeni se základními rysy a kosmologickými důsledky této teorie, nebojte se přeskočit tři následující podkapitoly. Ale pokud si chcete připomenout několik z jejích nejdůležitějších poznatků, tak mě neopouštějte.

Einstein začal na obecné teorii relativity pracovat roku 1907, v době, kdy si většina vědců myslela, že gravitace byla definitivně vysvětlena už dávnými pracemi Isaaca Newtona. Jak se středoškolští studenti povinně učí po celém světě, Newton předložil svůj univerzální gravitační zákon na sklonku 17. století. Poskytl tak lidstvu první matematický popis této nejznámější síly přírody. Jeho zákon je natolik přesný, že inženýrům v NASA dodnes slouží k výpočtu trajektorií kosmických plavidel a astronomové s ním i nadále předpovídají pohyb komet, hvězd i celých galaxií.²

Kvůli této prokazatelné efektivnosti je ještě pozoruhodnější skutečnost, že si Einstein počátkem 20. století uvědomil zásadní vady, jež Newtonův gravitační zákon zatěžují. V plné nahotě tyto defekty ukázala zdánlivě prostoduchá otázka: Jak, ptal se Einstein, gravitace funguje? Jak to, že je Slunce například schopno ovládnout 150 milionů kilometrů prázdného prostoru a ovlivnit pohyb Země? Jak může gravitace své silové působení uplatnit, když mezi oběma tělesy není napjat žádný provaz a Země netáhá žádný řetěz?

Ve svých *Principiích*, otištěných roku 1687, docenil Newton důležitost této otázky, ale uznal, že jeho vlastní zákon nabízí místo odpovědi jen trapné ticho. Byl si jistý, že musí existovat něco, čím se působení gravitace přenáší z jednoho místa na druhé, ale co by to mohlo být, nebyl schopen zjistit. V *Principiích* posměšně poznamenal, že tuto otázku ponechává „k zamyšlení čtenáři“, a čtenáři přes dvě staletí tento domácí úkol jednoduše opomíjeli. To ale Einstein udělat nemohl.

Velkou část onoho zmíněného desetiletí Einsteina pohlcovalo úsilí mechanismus způsobující gravitaci nalézt; v roce 1915 konečně přišel s odpovědí. Navzdory ukotvení teorie v důmyslné matematice a přes obří koncepční skoky, které přinesla a které neměly v dějinách fyziky obdobu, se jeho teorie vyznačovala stejným svěžím vánkem jednoduchosti jako otázka, kterou si kladla za cíl zodpovědět. Jakým procesem dokáže gravitační působení přemostit prázdný prostor? Ke střetu s prázdnotou prázdného prostoru měli zdánlivě všichni fyzici k dispozici jen holé ruce. Ale něco v prázdném prostoru přece jen je: *prostor*. To Einsteina přivedlo k myšlence, že samotný prostor je médiem gravitace.

Jak k tomu došel? Představte si, že se na velkém kovovém stole kutálí kulička. Protože je povrch stolu plochý, kulička poběží po přímé dráze. Ale když se

po zahřátí ohněm stůl na některých místech prohne a na jiných nadme, zvolí si kulička jinou dráhu, protože bude ovlivněna pokrouceným a rozvlněným povrchem. Einstein tvrdil, že podobný jev se odehrává i v tkanině samotného prostoru. Zcela prázdný prostor se podobá plochému stolu a dovoluje objektům nerušený pohyb po přímé dráze. Přítomnost hmotných těles však ovlivňuje tvar prostoru podobně, jako se zahřátím pokrivil tvar povrchu stolu. Ku příkladu Slunce ve svém okolí vytváří vybouleninu podobnou bublině, která vznikla na rozžhaveném stole. A stejně jako pokroucený povrch stolu přiměl kuličku k pohybu po zakřivené dráze, navádí zakřivený tvar prostoru kolem Slunce Zemi a další planety na jejich oběžné dráhy.

Toto stručné vysvětlení pomíjí důležité podrobnosti. Není to jen prostor, co se zakřivuje: zakřivuje se i čas (proto mluvíme o zakřivení časoprostoru neboli – jak se píše v mnoha českých populárně-vědeckých knihách – prostoročasu); samotná pozemská gravitace je pro pohyb kuličky nezbytná, protože ji tiskne ke stolu (zatímco podle Einsteina nepotřebují zkrouceniny v prostoru a čase žádného pomocníka, protože ony samotné *jsou* gravitací); prostor je třírozměrný, takže když se zakřivuje, děje se tak i v okolí objektu a nejen „pod ním“, jak analogie se stolem klamně naznačovala. Představa zakřiveného stolu nicméně zachycuje podstatu Einsteinova návrhu. Před Einsteinem byla gravitace záhadnou silou, již jedno těleso působilo skrze prostor na druhé. Po Einsteinovi se gravitace stala poruchou prostředí, vyvolanou jedním tělesem a určující pohyb tělesa druhého. Podle tohoto vysvětlení jste právě teď připoutáni k podlaze proto, že se vaše tělo snaží sklouznout po zářezu v prostoru (fakticky v časoprostoru), který vyvolala Země.*

Einstein strávil celé roky usilovnou snahou tuto myšlenku přeměnit na precizní matematickou strukturu a výsledné *Einsteinovy rovnice pole*, srdce jeho obecné teorie relativity, nám přesně říkají, jak se prostor a čas zakřivují v závislosti na přítomnosti libovolného množství hmoty (přesněji hmoty a energie; podle Einsteinova vztahu $E = mc^2$, kde E je energie a m hmotnost, lze tyto dvě veličiny zaměnit).³ Se stejnou přesností pak teorie určuje, jak je pohyb čehokoli – včetně hvězd, planet, komet a světla samotného, pohybujících se

* Je jednodušší si představit zakřivený prostor než zakřivený čas, a proto se většina populárních textů o Einsteinově gravitaci soustřeďuje čistě na prostor. Ve skutečnosti je ale gravitační účinek známých objektů, jako je Země a Slunce, převážně způsobován zakřivením času – a ne prostoru. To lze ilustrovat myšlenkovým experimentem se dvěma hodinami, z nichž jedny jsou umístěny na chodníku a druhé na střeše Empire State Building. Protože hodiny na chodníku jsou blíže středu Země, působí na ně o něco silnější gravitace než na hodiny shlížející na Manhattan. Podle obecné teorie relativity se tento rozdíl podepisuje na trochu odlišné rychlosti, s jakou oboje hodiny jdou: pozemské hodiny tikají o něco pomaleji (o miliardtiny sekundy za rok) než hodiny ve větší výšce. Tato odchylka v čase je příkladem toho, co míníme zakřiveným nebo zkrouceným časem. Obecná relativita zajišťuje, že se objekty pohybují směrem k místům, kde hodiny tikají pomaleji; v jistém smyslu „chtějí“ všechny objekty stárnout tak pomalu, jak to jen jde. Einstein takto originálně vysvětlil, proč předmět padá, když ho pustíte.

prostorem – takovým zakřivením časoprostoru ovlivněn; to dovoluje fyzikům provést podrobné výpočty pohybů v kosmu.

Důkazy správnosti obecné teorie relativity se objevily brzy. Astronomové dlouho věděli, že se oběžná dráha Merkura kolem Slunce trochu odchyluje od předpovědí Newtonovy matematiky. V roce 1915 Einstein s pomocí svých nových rovnic trajektorii Merkura přepočítal a tuto nesrovnalost vysvětlil. Tento poznatek později kolegovi Adrianu Fokkerovi vyličil jako natolik vzrušující, že mu po něm několik hodin bušilo srdce. Astronomická pozorování Arthura Eddingtona a jeho spolupracovníků při zatmění Slunce v roce 1919 potom ukázala, že světlo ze vzdálených hvězd prolétávající v blízkosti Slunce na své cestě k Zemi postupuje po zakřivené dráze, tedy přesně tak, jak obecná teorie relativity předpověděla.⁴ Kvůli tomuto potvrzení – a také kvůli nadpisu v *New York Times* VŠECHNA SVĚTLA NA NEBI NAKŘIVO, MUŽE VĚDY ZACHVÁTILA POSEDLOST – se Einstein rázem ocitl v pozici mezinárodní celebrity jako čerstvě nalezený vědecký génius a právoplatný dědic Isaaca Newtona.

Na nejpůsobivější testy obecné relativity tehdy však svět ještě čekal. V sedmdesátých letech potvrdily pokusy s vodíkovými maserovými hodinami (masery jsou podobné laserům, ale pracují s mikrovlnnou částí spektra) předpověď obecné relativity o zakřivení časoprostoru v okolí Země s přesností 1 ku 15 000. V roce 2003 posloužila sonda Cassini-Huygens k detailnímu rozboru trajektorií rádiových vln v blízkosti Slunce; nasbíraná data souhlasila s předpověďmi obecné relativity s přesností 1 ku 50 000. A jak se sluší na teorii, která už složila zkoušku dospělosti, nosíme si dnes obecnou relativitu i v dlaních. Vojenský globální družicový polohový systém GPS, k němuž se možná připojujete ze svého inteligentního mobilního telefonu, komunikuje se satelity, jejichž vnitřní časovací zařízení běžně započítávají zakřivení časoprostoru, které se projevuje na jejich pohybu kolem Země. Kdyby ho nezapočítávaly, jimi vydávané informace o poloze by se v mžiku staly nepřesnými. Co vzniklo v roce 1916 jako sada abstraktních rovnic, s nimiž Einstein nabídl nový popis prostoru, času a gravitace, se dnes běžně využívá v zařízeních, která se vejdou do kapsy.

Vesmír a šálek čaje

Einstein časoprostoru vdechl život. Vzepřel se tisícům let intuice, která vzešla z každodenních zkušeností a která nahlížela na prostor a čas jako na neměnné pozadí. Kdo by si uměl představit, že se časoprostor může svíjet a ohýbat a že je něčím jako hlavním choreografem veškerého pohybu ve vesmíru? A tento revoluční tanec si Einstein dokázal představit a potvrdila ho pozorování. A přesto i on zanedlouho zakopl o zátěž prastarých, leč nepodložených předsudků.

Během prvního roku poté, co publikoval svou obecnou teorii relativity, ji Einstein aplikoval na nejohromnějších měřítkách: na celý vesmír. Mohlo by se vám to zdát jako obrovský úkol, ale umění teoretické fyziky tkví ve zjednodušení strašidelně komplexního takovým způsobem, že podstatné fyzikální rysy zůstanou zachovány, ale teoretický rozbor se stane schůdným. Je to umění výběru toho, co lze ignorovat. Takzvaným *kosmologickým principem* Einstein vymezil pravidla umění a nauky o teoretické kosmologii.

Zkoumáme-li podle tohoto principu vesmír na nejdelších vzdálenostech, bude se jevit homogenní. Představte si ranní šálek čaje. V mikroskopických měřítkách se v něm projevuje velká nehomogenita. Vedle molekuly H_2O je něco prázdného prostoru a pak zase nějaká molekula polyfenolu nebo taninu. Z makroskopického pohledu prostého oka je však čaj homogenní materiál. Einstein věřil, že vesmír je jako šálek čaje. Námi pozorované variace – Země, vedle ní trochu prázdného prostoru a za ním Měsíc, oddělený prázdným prostorem od Venuše, Merkura, dalších louží prázdného prostoru a Slunce – jsou pouhými nehomogenitami projevujícími se na krátkých vzdálenostech. V kosmologických měřítkách lze tyto variace podle něj ignorovat, neboť se – stejně jako váš čaj – zprůměrují do něčeho homogenního.

V Einsteinových dobách byly argumenty podporující kosmologický princip chabé, pokud se vůbec nějaké uváděly (dokonce i existence dalších galaxií byla jen právě se rodícím poznatkem), ale Einstein byl veden pevnou vírou, že žádné místo ve vesmíru není důležitější než ostatní. Cítil, že v průměru by měly být všechny oblasti vesmíru rovnoprávné a měly by mít v podstatě totožné celkové fyzikální vlastnosti. Astronomická pozorování následujících let podstatně víru v kosmologický princip posílila, ale pouze v případě, že jde o oblasti velké alespoň 100 milionů světelných let v průměru (což je asi tisícinásobek průměru Mléčné dráhy). Rozdělíte-li vesmír do krychlových krabic o hraně 100 milionů světelných let, z nichž jedna se nachází *zde* a jiná zase *tam* (ve vzdálenosti třeba miliardy světelných let), a změříte-li průměrné vlastnosti uvnitř každé krabice – průměrnou hustotu galaxií, průměrné množství hmoty, průměrnou teplotu a tak dále –, zjistíte, že jednotlivé krabice od sebe jen stěží rozeznáte. Zkrátka – jestliže jste viděli jeden balík vesmíru o délce 100 milionů světelných let, viděli jste je vlastně všechny.

Tato stejnorodost je klíčová pro využití rovnic obecné relativity jako nástroje ke studiu celého vesmíru. Chcete vidět proč? Představte si krásnou, stejnorodou, hladkou pláž a myslíte si, že vás požádám o popsání jejích vlastností na krátkých měřítkách – tedy vlastností každého zrnka písku. Jistě vás to vyděsí – úkol je to prostě příliš náročný. Požádám-li vás však pouze o celkové vlastnosti pláže (třeba o průměrnou hmotnost písku na krychlový metr, průměrnou odrazivost povrchu pláže na čtvereční metr a několik dalších údajů), úkol snadno vyřešíte. Důvodem takové snadnosti řešení je homogenita pláže. Stačí naměřit průměrnou hmotnost písku, teplotu a odrazivost na jednom

místě – a je to. Analogická měření na jiném místě by vedla k téměř totožnému výsledku. Podobně je tomu s homogenním vesmírem. Popsat každou planetu, hvězdu a galaxii by byl úkol nad naše síly, zato popis průměrných vlastností homogenního kosmu je neskutečně jednodušší a – s příchodem obecné teorie relativity – splnitelný.

Jak je to možné? Celkový obsah tohoto obrovského objemu prostoru lze zhruba vyjádřit množstvím „materiálu“, který obsahuje; přesněji hustotou hmoty nebo – ještě přesněji – hustotou hmoty a energie, které daný objem obsahuje. Rovnice obecné teorie relativity vypovídají o tom, jak se tato hustota mění v čase. Kdybychom se však nespolehali na kosmologický princip, bylo by beznadějně obtížné tyto rovnice analyzovat. Je jich deset, a protože každá z nich spleť závisí na ostatních, tvoří jeden pevný matematický gordický uzel. Naštěstí Einstein zjistil, že když se rovnice aplikují na homogenní vesmír, matematika se zjednoduší; většina z té desítky rovnic začne být přebytečná, a lze je proto nahradit rovnicí jedinou. Kosmologický princip tak roztíná gordický uzel tím, že snižuje stupeň matematické složitosti analýzy hmoty a energie rozprostřené v kosmu do jediné rovnice (najdete ji v poznámkách).⁵

Einstein při zkoumání téhle rovnice zjistil něco neočekávaného, co bylo z jeho pohledu bohužel nestavitelné. Převažovalo přírodovědecké a filozofické mínění, že vesmír je na těch největších měřítkách nejen homogenní, ale i neměnný. Právě jako se rychlé molekulární pohyby ve vašem čaji zprůměrují do kapaliny, při pohledu zvnějšku statické, astronomické pohyby, například oběh planet kolem Slunce nebo pohyb Slunce v Galaxii, by se měly zprůměrovat do vesmíru ve svém celku neměnného. Einstein – stoupenec tohoto kosmického světonázoru – si uvědomil, že je v rozporu s obecnou relativitou. Z matematiky vyplývalo, že hustota hmoty a energie *nemůže* být konstantní v čase. Buď hustota roste, nebo klesá, ale nemůže zůstat beze změny.

Přestože je matematická analýza vedoucí k tomuto závěru důmyslná, pro pochopení jejího fyzikálního obsahu člověk zas tolik fantazie nepotřebuje. Představte si dráhu baseballového míčku, který se vznáší od pálky směrem k oplocení. Míček nejprve rychle vystřelí nahoru, potom ve svém letu zpomalí, a když dosáhne nejvyššího bodu, začíná zase padat dolů. Míček ani na chvíli nezůstane stát na místě jako vyhlídkový balon, protože gravitace vždy působí jedním směrem a přitahuje míček k povrchu Země. Statická situace, například nerozhodný výsledek při přetahování, vyžaduje dvě stejně velké síly působící v opačném směru, které se vykompenzují. U nafukovacího balonu se například gravitace směrem dolů vyváží s tlakem vzduchu, který tlačí balon nahoru (je naplněn heliem, plynem lehčím než vzduch); na baseballový míček nepůsobí proti gravitaci žádná další síla (odpor vzduchu působí proti pohybu míčku, ale nehraje roli, když je míček v klidu), a tak míček v konstantní výšce nemůže vydržet.

Einstein zjistil, že se vesmír chová spíše jako míček než jako nafukovací balon. Jelikož neexistuje žádná směrem ven působící síla, která by vyvážila gravitační přitažlivost, obecná teorie relativity ukazuje, že vesmír nemůže být statický. Buď se tkanina vesmíru rozpíná, nebo se smršťuje, ale co do velikosti nemůže zůstat neměnná. Krychle vesmíru, která má dnes hranu 100 milionů světelných let, nebude stejně velká i zítra. Buď bude větší a hustota hmoty v této krychli poklesne (s tím, jak se hmota rozptýlí do většího objemu), nebo bude menší a hustota hmoty stoupne (neboť se stlačí do menšího objemu).⁶

Einstein se zalekl. Podle matematiky obecné teorie relativity se vesmír na těch svých největších měřítkách musí měnit, protože se musí měnit jeho vlastní substrát – prostor samotný. Věčný a statický kosmos, který – jak Einstein očekával – měl vzejít z jeho rovnic, z nich jednoduše nevyplynul. A Einsteina, který započal kosmologii jako vědní disciplínu, zarmoutilo, kam až ho matematika zavedla.

Jak zdanit gravitaci

Často se říká, že Einstein raději přimhouřil oči – vrátil se ke svým sešitům a v zoufalství svoje krásné rovnice upravil, aby byly v souladu s vesmírem nejen homogenním, ale i neměnným. To je ale pravda jen zčásti. Skutečně své rovnice pozměnil, aby podporovaly jeho přesvědčení o statickém kosmu, ale jeho úpravy byly jen minimální a veskrze rozumné.

Abyste si udělali jakous takous představu o jeho matematickém kroku, připomeňte si daňový formulář. Mezi řádkami, do nichž zapisujete své údaje, jsou i řádky, které nevyplňujete. Matematicky představuje prázdná řádka nulu, ale psychologicky říká něco navíc. Znamená, že řádku ignorujete proto, že podle vašeho přesvědčení není pro vaši finanční situaci podstatná.

Kdybychom uspořádali matematiku obecné relativity jako daňové přiznání, mělo by tři řádky. Jedna by zahrnovala geometrii časoprostoru – jeho pokroucení a zakřivení –, tedy ztělesnění gravitace. Další by reprezentovala rozložení hmoty v prostoru, tedy zdroj gravitace – příčinu zakřivení a pokroucení. V průběhu desetiletí horlivého bádání vypracoval Einstein matematický popis těchto dvou položek a uvedené dvě řádky tedy velmi pečlivě vyplnil. Ale úplný zákon o dani z obecné relativity vyžaduje ještě řádku třetí. Ta je sice matematicky zcela rovnoprávná se zbylými dvěma, ale její fyzikální význam je delikátnější. Když obecná teorie relativity povýšila prostor a čas na dynamické aktéry vývoje kosmu, změnila je z jazykových nástrojů vypovídajících o tom, kde a kdy se odehrávají události, na fyzikální objekty, které také mají své vlastnosti. Třetí řádka na daňovém přiznání obecné teorie relativity vyčísluje konkrétní veličinu spojenou s časoprostorem, jež má vliv na gravitaci: *množství energie přiřité ke tkanině prostoru samotného*. Právě tak jako každý krychlový metr vody obsahuje určité množství energie, závislé na teplotě vo-

dy, tak i každý krychlový metr prostoru obsahuje jisté množství energie, a to množství vyjádřené číslem na třetí řádce. Ve svém článku ohlašujícím obecnou teorii relativity Einstein tuto řádku nevyplnil. Matematicky je to, jako by vyplnil nulu, ale stejně jako v případě daňového přiznání lze říct, že tu řádku prostě ignoroval.

Jakmile se obecná relativita ukázala jako neslučitelná se statickým vesmírem, Einstein se k matematice vrátil a tentokrát se na třetí řádku podíval zevrubněji. Uvědomil si, že neexistuje žádné pozorování nebo experimentální zdůvodnění toho, proč do ní zapsat nulu. A také se dověděl, že ta řádka ztělesňuje pozoruhodný fyzikální potenciál.

Zapišeme-li totiž místo nuly do třetí řádky kladné číslo a obdaříme-li tkaničku prostoru homogenní kladnou energií, potom, jak si povšiml Einstein (a jak vysvětlím v další kapitole), bude každá oblast prostoru odtlačovat jakoukoli oblast další, což povede k něčemu, co fyzici považovali za nemožné: k *odpudivé* gravitaci. Einstein navíc ještě zjistil, že pokud přesně nastaví velikost čísla na třetí řádce, odpudivá gravitační síla napříč vesmírem přesně vyváží obvyklou přitažlivou gravitaci způsobenou hmotou, která prostor vyplňuje – a vznikne statický vesmír. Podobně jako nafukovací balon, který nestoupá ani neklesá, by byl vesmír neměnný.

Einstein nazval položku v třetí řádce *kosmologickým členem* nebo *kosmologickou konstantou*; jakmile ji doplnil tam, kam patřila, mohl klidně spát. Nebo alespoň klidněji. Má-li vesmír kosmologickou konstantu správné velikosti – tedy je-li prostor obdařen správnou dávkou sobě vlastní energie –, jeho teorie gravitace začne souhlasit s převládající vírou, že vesmír se na nejdelších měřítkách nevyvíjí. Einstein nemohl vysvětlit, proč má prostor přesně správné množství energie, aby k této rovnováze došlo, ale alespoň prokázal, že obecná teorie relativity, doplněná o kosmologickou konstantu správné velikosti, umožňuje existenci vesmíru toho druhu, který on i další očekávali.⁷

Prvotní atom

Přibližně ve stejné době, na solvayské konferenci v Bruselu roku 1927, přistoupil k Einsteinovi Lemaître a oznámil mu svoje zjištění, že obecná teorie relativity vede k novému kosmologickému paradigmatu, v němž se prostor rozpíná. Protože Einstein už zápasil s matematikou potřebnou pro statický vesmír a poněvadž už dříve odmítl podobná tvrzení od Fridmana, chyběla mu trpělivost, aby se rozpínajícím se vesmírem zabýval znovu. Vyčínil tedy Lemaîtreovi za to, že se přijímáním očividně absurdních závěrů stal otrokem matematiky a praktikuje „opovržením hodnou fyziku“.

Pokárání od ctěné osobnosti není žádný drobný nezdar, Lemaître se jím však dlouho netrápil. Když roku 1929 Edwin Hubble shromáždil údaje z tehdy největšího dalekohledu světa na observatoři Mount Wilson, přesvědčivě z nich

plynulo, že všechny vzdálené galaxie utíkají pryč od Mléčné dráhy. Vzdálené fotony, které Hubble prozkoumal po jejich příletu na Zemi, přinášely jasné poselství: vesmír není statický. *Rozpíná se*. Einsteinovo rozhodnutí přidat kosmologický člen tedy bylo nepodložené. Model velkého třesku, v němž kosmos začal v nesmírně stlačeném stavu a od té doby se rozpíná, byl brzy obecně přijat jako vědecká verze příběhu o stvoření světa.⁸

Lemaître a Fridman byli rehabilitováni. Fridmanovi se dostalo uznání za to, že poprvé zkoumal řešení s rozpínajícím se vesmírem, a Lemaîtreovi za jeho nezávislé rozpracování těchto řešení do robustních kosmologických scénářů. Jejich práce byla náležitě velebena jako triumf matematiky při odhalování toho, jak funguje vesmír. Naopak Einstein litoval toho, že vůbec třetí řádkou daňového přiznání obecné relativity mrhal čas. Kdyby býval nebyl omezen předsudky o tom, že vesmír musí být statický, kosmologickou konstantu by nikdy nezavedl a mohl by snad i předpovědět rozpínání vesmíru víc než deset let předtím, než bylo pozorováno.

Příběh kosmologické konstanty tím nicméně ani zdaleka neskončil.

Modely a data

Kosmologický model velkého třesku obsahuje jeden detail, který se ukáže jako podstatný. Nabízí nám totiž nejen jeden, ale hned několik kosmologických scénářů; všechny předpovídají rozpínání vesmíru, ale liší se v pohledu na celkový tvar prostoru – a zvláště na otázku, zda je prostor jako celek konečný, nebo nekonečný. Protože rozdíl mezi konečným a nekonečným prostorem bude podstatný i pro náš výklad o paralelních světech, jednotlivé možnosti představím.

Kosmologický princip – předpokládaná homogenita vesmíru – omezuje geometrii prostoru. Většina tvarů nepřichází v úvahu proto, že nejsou dostatečně rovnoměrné: tyto tvary se nafukují zde, zplošťují jinde a krouží o kus dále. Přesto z kosmologického principu neplyne *jediný možný* tvar našich tří prostorových rozměrů; místo toho princip zužuje možnosti na velmi omezený seznam kandidátů. Dokonce i profesionálové mají problém si je představit, ale je užitečné si všimnout, že nám situace se *dvěma* rozměry nabízí matematicky přesnou a snadno představitelnou analogii.

K tomuto účelu si nejprve představte dokonale kulatou kulečnickovou kouli. Její povrch je dvourozměrný (právě jako na povrchu Země lze polohu bodu určit dvěma čísly – například zeměpisnou šířkou a zeměpisnou délkou – proto také mluvíme o dvourozměrném tvaru) a dokonale homogenní v tom smyslu, že všechna místa vypadají stejně. Matematici nazývají povrch kulečnickové koule *dvourozměrnou sférou* a říkají, že má *konstantní kladnou křivost*. Zhruba řečeno znamená „kladné“ znaménko to, že prohlédnete-li si svůj obraz ve sférickém zrcadle, bude se vydouvat směrem ven, zatímco „konstantní“ zase

znamená, že nehledě na to, na jakém místě sféry je váš obraz, bude vždy stejně deformovaný.

Dále si představte dokonale hladký povrch stolu. Stejně jako v případě povrchu koule je homogenní. Tedy téměř. Mravenci pochoduujícímu po stole nabízí každý bod stolu stejný výhled jako všechny ostatní, ale jen tehdy, je-li dostatečně daleko od hrany stolu. Není ale těžké obnovit dokonalou homogenitu. Stačí si představit stůl bez konců a hran a to lze dvěma způsoby. Jedním z nich je stůl rozprostírající se donekonečna zleva doprava i zepředu dozadu. Takový nekonečně velký povrch je neobvyklý – ale je příkladem stolu bez hran, protože z nekonečně velkého stolu nelze spadnout. Druhou možností je deska stolu připomínající obrazovku z prastarých videoher. Když slečna Pac-Manová překročí levý okraj obrazovky, objeví se na pravé, překročí-li dolní okraj, objeví se nahoře. Stůl s takovou vlastností nikde na světě nenajdete, ale z geometrického hlediska je tento tvar zcela v pořádku; říká se mu dvourozměrný *torus*. Podrobněji se o něm dočtete v poznámkách.⁹ Zde nám stačí vědět, že je stejně jako nekonečný stůl homogenní a nemá žádné hrany. Zdánlivé hranice, k nimž se slečna Pac-Manová přibližuje, jsou jen fiktivní; lze jimi projít a zůstat přitom ve hře.

Matematici říkají, že nekonečný stůl a obrazovka z videohry jsou tvary s *konstantní nulovou křivostí*. „Nula“ znamená, že váš odraz v zrcadle jednoho z těchto dvou tvarů není deformovaný, kdežto „konstantní“ znamená totéž co dříve: že váš obraz vypadá stejně na všech místech zrcadla. Rozdíl mezi oběma tvary začne být zřetelný pouze z globálního pohledu. Pojedete-li po nekonečném stole rovně, nikdy se nevrátíte domů; ve videohře byste ale objeli obrazovku a vrátili se na startovní metu, aniž byste kdy otočili volantem.

A nakonec jeden tvar, který se trochu hůře znázorňuje – vlastně jde o tvar bramborového lupínku Pringles, prodlouženého donekonečna –, představuje ještě jeden zcela homogenní tvar, který má v řeči matematiky *konstantní zápornou křivost*. „Záporná“ znamená, že váš odraz na zrcadle tohoto tvaru bude smrštěný směrem dovnitř.

Naštěstí lze tyto popisy dvourozměrných homogenních tvarů bez námahy zobecnit na třírozměrné tvary vesmíru, o který opravdu jde. Kladná, záporná a nulová křivost – homogenní vyduť ven, smrštění dovnitř a nedeformovaný obraz – stejně dobře charakterizují homogenní třírozměrné tvary. Máme v podstatě dvojnásobné štěstí, protože jakkoli obtížné je si tyto třírozměrné tvary představit (když si představujeme tvary, těžko se zbavujeme předpokladu, že jsou umístěny v prostředí – letadlo *ve* vzduchu, planeta *v* prostoru –, ale pokud jde o prostor samotný, žádné vnější prostředí prostor obsahující neexistuje), homogenní třírozměrné tvary jsou natolik přiléhavými analogiemi svých dvourozměrných protějšků, že neobětujete žádnou přesnost, uděláte-li to, co dělají i fyzici: použijete dvourozměrné příklady jako názorné modely situace.

TVAR	DRUH ZAKŘIVENÍ	PROSTOROVÁ VELIKOST
sféra	kladné	konečná
deska stolu	nulové (čili „ploché“)	nekonečná
obrazovka videohry	nulové (čili „ploché“)	konečná
lupínek Pringles	záporné	nekonečná

Možné tvary prostoru slučitelné s předpokladem, že každé místo v prostoru je rovnoprávné se všemi ostatními (kosmologický princip).

V tabulce nahoře jsem shrnul možné tvary a zdůraznil, že některé z nich mají konečný objem (sféra a obrazovka videohry), zatímco jiné jsou nekonečné (nekonečná deska stolu a nekonečný lupínek Pringles). Tabulka je však ve své nynější podobě neúplná. Existují ještě i další možnosti, s báječnými názvy jako *binární tetrahedrální (čtyřstěnný) prostor* a *Poincarého dodekahedrální (dvanáctistěnný) prostor*, které mají také homogenní křivost, ale které jsem vynechal proto, že je těžší si je představit na základě objektů každodenního života. Rozvážným řezáním a frézováním je lze získat z tvarů v mém seznamu, a tak tabulka poskytuje alespoň reprezentativní vzorek. Jde však o detaily nepodstatné pro náš hlavní závěr: *Homogenita vesmíru uzákoněná v kosmologickém principu podstatně filtruje možné tvary vesmíru. Některé z možných tvarů mají konečný rozsah, zatímco jiné ne.*¹⁰

Náš vesmír

Rozpínání vesmíru matematicky nalezené Fridmanem a Lemaîtreem platí doslova pro vesmíry, které mají kterýkoli z těchto tvarů. V případě kladné křivosti si představte dvourozměrný model balonku, do něhož pumpujeme vzduch a tak ho nafukujeme. V případě nulové křivosti poslouží roztažená guma, která se rozpíná do všech směrů. Vesmír s negativní křivostí vypadá jako kus gumy vymodelované do tvaru lupínku Pringles, která se opět může roztahovat. Jestliže galaxie považujeme za třpytky rovnoměrně rozprostřené po jedné z těchto ploch, má rozpínání prostoru za důsledek pohyb třpytících se bodů – galaxií – od sebe navzájem, přesně tak, jak potvrdila Hubbleova pozorování z roku 1929.

Je to přesvědčivá kosmologická šablona, ale má-li být definitivní a úplná, potřebujeme určit, který z tvarů je vlastní našemu vesmíru. To, jaký tvar známý objekt – například věneček, baseballový míček nebo kostka ledu – má, zjistíme tak, že jej vezmeme do ruky a prohlédneme z různých stran. Tahle metoda bohužel nefunguje u vesmíru, a proto musíme určovat tvar nepřímo. Rovnice obecné teorie relativity nabízejí matematickou strategii. Ukazují, že se zakřivení prostoru redukuje na jedinou pozorovatelnou veličinu: na hustotu hmoty (přesněji hmoty a energie) v prostoru. Jestliže je hmoty mnoho,

přinutí gravitace prostor, aby se zakřivil sám do sebe a nabyl sférického tvaru. Je-li hmoty málo, má prostor příležitost šířit se směrem ven do tvaru lupínku Pringles. A je-li množství hmoty tak akorát, prostor bude mít nulovou křivost.*

Rovnice obecné relativity také poskytují přesnou demarkační čáru mezi těmito třemi možnostmi. Matematika ukazuje, že „správné množství hmoty, které je tak akorát“, takzvaná kritická hustota, je dnes asi $2 \cdot 10^{-26}$ kilogramu na krychlový metr, tedy asi šest vodíkových atomů na metr krychlový nebo – zůstaneme-li u známých objektů – dešťová kapka na objem o velikosti zeměkoule.¹¹ Když se porozhlédneme po okolí, určitě bychom si mohli myslet, že hustota vesmíru převyšuje hustotu kritickou, ale takový závěr by byl ukvapený. Matematický výpočet kritické hustoty předpokládá, že hmota je rozprostřena v prostoru rovnoměrně. Takže si musíte představit Zemi, Měsíc, Slunce a všechno ostatní rozdrčené na atomy a ty rovnoměrně rozprášené do kosmu. Otázkou je, zda každý metr krychlový bude potom vážit více, nebo méně než šest vodíkových atomů.

Pro její důležité kosmologické důsledky se astronomové snažili několik desetiletí průměrnou hustotu vesmíru měřit. A to metodou přímočarou. Výkonnými dalekohledy pečlivě pozorovali velké oblasti prostoru a sčítali hmotnosti hvězd, které mohli vidět přímo, i dalšího materiálu, jehož přítomnost mohli vydedukovat z pohybu hvězd a galaxií. Ještě nedávno se zdálo, že z pozorování plyne, že hustota vesmíru se pohybuje nízko, kolem 27 % kritické hustoty – to odpovídá asi dvěma vodíkovým atomům v každém krychlovém metru –, z čehož by plynul negativně zakřivený vesmír.

O něco později, na sklonku devadesátých let 20. století, se však stalo něco mimořádného. Na základě několika velkolepých pozorování a šňůry úvah (dočtete se o nich v 6. kapitole) si astronomové uvědomili, že do té doby přehlíželi jednu podstatnou položku rozpočtu: energii rozptýlenou tak, že vyplňuje prostor napohled rovnoměrně. Údaje šokovaly skoro každého. Energie zaplavující prostor? To zní skoro jako kosmologická konstanta, zavedená, jak jsme připomenuli, Einsteinem osm let předtím, než ji zase zavrhl. Vzkřísila snad moderní pozorování kosmologickou konstantu?

Stále to nevíme jistě. Dodnes, více než deset let po původních pozorováních, na astronomy čeká úkol rozhodnout, zda je hustota této energie v každé oblasti prostoru konstantní, nebo zda závisí na čase. Kosmologická konstanta, jak její název naznačuje (a jak plyne z jejího vyjádření jediným pevně daným číslem na daňovém přiznání obecné relativity), by měla být neměnná. Aby astronomové nevyloučili možnost, že se tato energie přece jen mění,

* Pod vlivem našeho dřívějšího povídání o tom, jak hmota zakřivuje oblast, do které je uvržena, byste se mohli divit, jak je možné, že zakřivení může být *nulové*, přestože je přítomna hmota. Správná odpověď je, že rovnoměrná hustota hmoty obecně zakřivuje *časoprostor*; v tomto konkrétním případě má prostor samotný křivost nulovou, ačkoli křivost časoprostoru je nenulová.

a aby zdůraznili i to, že tato energie nevyzařuje světlo (proto se také tak dlouho skrývala před našimi zraky), vymysleli si nový pojem: *skrytá* či *temná energie*. Oba přívlastky kromě toho připomínají i mnoho mezer v našem chápání. Nikdo nedokáže původ skryté energie, její fundamentální složení nebo podrobné vlastnosti vysvětlit – tyto otázky jsou stále pečlivě zkoumány a my se k nim ještě vrátíme v pozdějších kapitolách.

Ale i navzdory četným otevřeným otázkám dospěla důkladná pozorování Hubbleovým vesmírným dalekohledem i dalšími pozemskými observatořemi ke shodě ohledně *množství* skryté energie, která dnes prostorem prostupuje. Výsledná hodnota několikanásobně převyšuje hodnotu kdysi dávno navrženou Einsteinem (protože ten chtěl hodnotu vedoucí k statickému vesmíru, zatímco náš vesmír se rozpíná). To nijak nepřekvapuje. Pozoruhodný je však fakt, že podle měření přispívá skrytá energie vyplňující prostor asi 73 % kritické hustoty. *Připočteme-li je k 27 % kritické hodnoty, kterou astronomové naměřili už předtím, vyjde nám přesně těch 100 % kritické hustoty, tedy přesně správné množství hmoty a energie pro vesmír s nulovou prostorovou křivostí.*

Nejnovější poznatky i pozorování tedy upřednostňují navždy se rozpínající vesmír vytvarovaný buď do třírozměrné odrůdy nekonečné desky stolu, nebo do konečné obrazovky videohry.

Realita v nekonečném vesmíru

Na začátku této kapitoly jsem podotkl, že nevíme, zda je vesmír konečný, nebo nekonečný. V předchozím textu jsem vyložil důvody, proč si myslet, že obě možnosti mohou přirozeně vyplynout z teoretických studií a že obě jsou slučitelné s nejrafinovanějšími astrofyzikálními měřeními a pozorováními. Jak by jednoho dne mohlo pozorování rozhodnout, která z obou možností je ta správná?

To je těžká otázka. Je-li prostor konečný, potom může část světla vyslaného hvězdami a galaxiemi, než se dostane do našich dalekohledů, několikrát obletět celý vesmír. Podobně jako opakující se obrazy vytvořené párem rovnoběžných zrcadel, mezi nimiž se odráží světlo sem a tam, i světlo obíhající kolem vesmíru by vytvořilo mnohonásobné obrazy hvězd a galaxií. Astronomové takové mnohonásobné obrazy hledali – zatím neúspěšně. To samo o sobě nezaručuje, že je vesmír nekonečný, ale naznačuje to, že je-li vesmír konečný, tak musí být nesmírně rozlehlý, protože světlo zatím nemělo čas, aby kosmickou závodní dráhou několikrát proběhlo. A proto je tak těžké na základě pozorování dané dilema rozhodnout. Byť je třeba vesmír konečný, může svou konečnost předstírat, a to tím přesvědčivěji, čím je větší.

Pro některé otázky vznášené kosmologií, třeba pro zjištění věku vesmíru, nehraje rozdíl mezi oběma možnostmi žádnou úlohu. Ať už je vesmír konečný, nebo nekonečný, čím blíže se podíváme k začátku vesmíru, tím byly gala-

xie tlačeny více k sobě, a proto byl vesmír hustší, teplejší a procesy v něm extrémnější. Dnešní pozorování rychlosti rozpínání lze spojit s teoretickým rozbořem, jak se tato rychlost měnila s časem – tak se dozvíme, před jakou dobou byla veškerá hmota stlačena do jediného fantasticky hutného semínka, které bychom mohli označit za počátek všeho. Ať už je vesmír konečný, nebo nekonečný, vždy nám výpočet ukáže, že toto semínko existovalo před 13,7 miliardy let.

To, zda je vesmír konečný, nebo nekonečný, je však důležité z jiného pohledu. V případě konečného vesmíru si například lze přesně představit, že vydáme-li se ke stále ranějším okamžikům jeho života, celkový objem kosmu se stále víc a víc smršťuje. Ačkoli se matematika zhroutí v samotném čase nula, měli bychom si uvědomit, že v okamžicích libovolně blízkých k tomuto začátku byl vesmír libovolně malinkaté smítko. Je-li ovšem vesmír nekonečný, pak je takový popis chybný. Jestliže je dnes vesmír nekonečný, tak byl nekonečný odjakživa a vždy také nekonečný zůstane. Když se vesmír smršťuje, je jeho obsah stlačován stále víc, čímž jeho hustota roste nade všechny meze. Celkový obsah však zůstává *nekonečný*. Koneckonců, kdybyste nekonečnou desku stolu smrštili dvojnásobně, co dostanete? Půl nekonečna, tedy stále nekonečno. Zmenšíte ji milionkrát, a k čemu teď dojdete? Stále k nekonečnu. Čím víc se blížíme k bodu nula, tím bude nekonečný vesmír hustší, zato jeho velikost zůstane nekonečná.

Ačkoli pozorování ponechávají souboj konečného a nekonečného bez řešení, zjistil jsem, že pod tlakem fyzici a kosmologové většinou tíhnou k názoru, že vesmír je nekonečný. Myslím, že tento postoj částečně odráží nahodilý historický fakt, že dlouhá desetiletí nevěnovali badatelé příliš pozornosti konečnému tvaru z videohry, zejména proto, že se hůře matematicky analyzuje. A tento pohled snad také odráží nesprávnou představu, že rozdíl mezi nekonečným a obřím, leč konečným vesmírem je pouze akademická otázka. Nakonec když je vesmír tak velký, že nikdy nevystřčíme nos za hranice malé části celku, mělo by nás to, zda pokračuje o konečnou, nebo nekonečnou vzdálenost za hranici, kam dnes můžeme dohlédnout, vůbec zajímat?

Zajímat by nás to mělo. Otázka konečnosti má hluboký dopad na samotnou povahu reality. A tím se dostáváme do srdce této kapitoly. Zamysleme se nad možností, že vesmír je nekonečně velký, a prozkoumáme, co z toho plyne. Bez větší námahy zjistíme, že my sami obýváme jeden svět v nekonečné sbírce paralelních světů.

Nekonečný prostor a sešívání deka

Začneme jednoduše tady na Zemi, daleko od rozpínajících se končin nekonečného vesmíru. Představte si, že si vaše přítelkyně Penny, aby ukojila svou zálibu v pestrém oblečení, zakoupila pět set přepychových šatů a tisíc párů

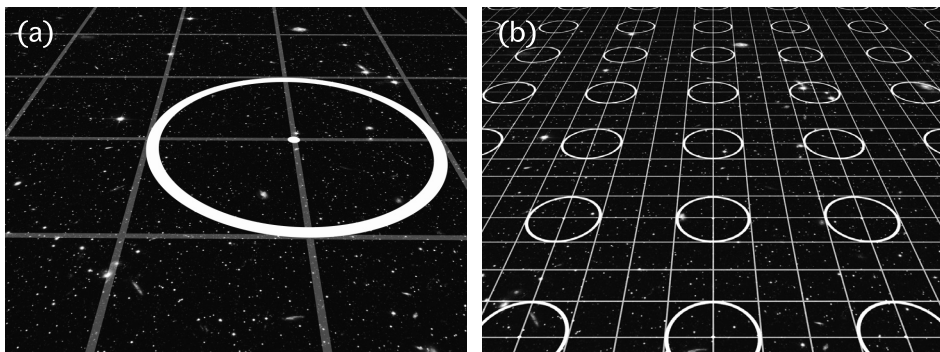
bot přímo od módních návrhářů. Jestliže si každý den obleče jiné šaty a obuje jiné boty, nakonec možné kombinace oblečení a obuvi vyčerpá a vezme na sebe něco, co už na sobě měla. Není těžké spočítat kdy. Pět set šatů a tisíc párů obuvi dává půl milionu různých kombinací. Pět set tisíc dnů je asi 1 400 let, takže pokud bude Penny žít dostatečně dlouho, nakonec ji přistihneme při tom, že jí došla módní fantazie. A kdyby žila nekonečně dlouho, oblékla by každý ze svých „ohozů“ nekonečněkrát. Nekonečné množství dní v kombinaci s konečným množstvím možného oblečení a obutí garantuje nekonečné opakování.

V podobném duchu se podívejme i na Howarda, zkušeného rozdavače karet, který jeden po druhém zamíchal obrovské množství balíčků karet a ty pak položil vedle sebe do úhledné řady. Může se pořadí karet v každém balíčku lišit, nebo se musí opakovat? Odpověď závisí na množství balíčků. Dvaapadesát karet lze uspořádat mnoha způsoby (52 možností, jak vybrat první kartu, krát 51 možností pro druhou krát 50 možností pro další kartu a tak dále). Když počet balíčků, které Howard míchá, převyší počet různých pořadí karet v balíčku, potom se některé z promíchaných balíčků budou shodovat. Kdyby zamíchal nekonečné množství balíčků, pořadí karet v balíčku by se opakovala nekonečněkrát. Stejně jako v případě Penniných šatů zaručuje nekonečný počet pokusů spolu s konečným počtem konfigurací to, že se výsledky musejí nekonečněkrát opakovat.

Toto prosté zjištění je podstatné pro kosmologii nekonečného vesmíru. Objasnění této důležitosti rozdělíme na dvě části.

V nekonečném vesmíru leží většina oblastí za hranicemi, kam můžeme dohlédnout, a to dokonce i těmi nejvýkonnějšími dalekohledy. Třebaže se světlo pohybuje neuvěřitelně rychle, nebude mít od velkého třesku dostatek času, aby k nám doletělo – pokud bylo vysláno ze zdroje, který je dostatečně daleko. Protože vesmír je starý 13,7 miliardy let, mohli byste si myslet, že do této kategorie budou náležet všechny zdroje, které jsou od nás víc než 13,7 miliardy světelných let daleko. Takový úsudek se opírá o víceméně správnou intuici, ale rozpínání vesmíru zvětšilo vzdálenost mezi námi a zdrojem, který kdysi dávno vyslal světlo, které k nám právě doletělo; dnes jsou tedy nejvzdálenější objekty, které můžeme vidět, od nás několikanásobně dále – nějakých 41 miliard světelných let daleko.¹² Na těchto přesných číslech zase tak moc nezáleží. Důležité je, že oblasti vesmíru, jejichž vzdálenost převyšuje určité číslo, se dnes nacházejí za hranicemi, kam dnes můžeme dohlédnout. Stejně jako odplouvající lodě, které už překročily horizont, nejsou z pobřeží vidět, tak podle astronomů objekty ve vesmíru, které jsou příliš daleko, takže je nemůžeme vidět, leží za naším *kosmickým horizontem*.

Podobně světlo vyslané od nás nemohlo ještě do těchto vzdálených oblastí doletět, takže i my se nalézáme za jejich kosmickým horizontem. Kosmické horizonty navíc neoddelují jen místa, která lze vidět, od těch, která spatřit



(a) Protože se světlo pohybuje konečnou rychlostí, pozorovatel ve středu libovolné záplaty (ve středu pozorovatelova kosmického horizontu) se mohl spojit pouze s objekty na stejné záplatě. (b) Dostatečně odlehle kosmické horizonty jsou příliš vzdálené na to, aby se navzájem jakkoli ovlivnily, a proto se vyvíjely zcela nezávisle.

nelze. Z Einsteinovy speciální teorie relativity víme, že žádný signál, žádný vzruch, žádná informace a *vůbec nic* se nemůže pohybovat rychleji než světlo – a to znamená, že oblasti vesmíru, které jsou od sebe navzájem tak daleko, že k sobě neměly čas vyslat světelné paprsky, se dosud zákonitě musely vyvíjet zcela nezávisle.

Ve dvourozměrné analogii můžeme přirovnat rozsah prostoru v daný okamžik času k obří dece sešité z kulatých záplat, v níž každá záplata představuje jeden kosmický horizont. Někdo umístěný ve středu takové záplaty mohl vést dialog s kýmkoli na stejné záplatě, ale nemohl navázat kontakt s ničím, co se nachází na jiné záplatě (obrázek *a* nahoře), protože je to zkrátka příliš daleko. Body ležící blízko hranice dvou záplat mohou mít k sobě navzájem blíže než středy obou sousedících záplat, a tak vzájemně interagovat mohly, ale pokud například uvažujeme o záplatách v každé druhé řadě a v každém druhém sloupci kosmické deky, budou teď všechny páry bodů na dvou různých záplatách od sebe navzájem tak daleko, že žádné mezizáplatové interakce zatím nemohly nastat (obrázek *b*). Stejně tak je tomu i v případě tří rozměrů, kde jsou kosmické horizonty – záplaty v kosmické dece – sférického tvaru a kde platí stejný závěr: dostatečně vzdálené záplaty leží mimo sféry vlivu svých kolegů – jde proto o nezávislé oblasti.

Jestliže je prostor rozsáhlý, ale konečný, můžeme ho rozdělit do velkého, ale konečného množství nezávislých záplat. Je-li nekonečný, bude existovat *nekonečný* počet nezávislých záplat. Tento poslední závěr má obzvláštní kouzlo, jehož objasnění je věnována druhá část našeho argumentu. Jak hned uvidíme, v každé jednotlivé záplatě mohou být částice hmoty (přesněji řečeno hmota a všechny formy energie) srovnány pouze do konečného množství různých uspořádání. Ujijeme-li úvahy uplatněné v případě Penny a Howarda, dovítíme se, že podmínky v nekonečném množství velmi odlehklých záplat –

v oblastech prostoru podobných té, v níž žijeme, a rozptýlených po neomezeném vesmíru – se *zákonitě opakuji*.

Konečný počet možností

Představte si, že vás za teplého letního večera otravuje v ložnici dotěrná moucha. Vyzkoušeli jste už plácačku i nehumánní sprej. Nic nezabralo. V zoufalství začnete s mouchou vyjednávat. „Tohle je dost velká ložnice,“ domlouváte jí. „Je tady tolik jiných míst, kde bys mohla být. Nemusíš proto bzučet u mého ucha.“ „Opravdu?“ odpoví moucha vykutáleně. „Kolik těch míst tu máš?“

V klasickém vesmíru by zněla odpověď „nekonečně mnoho“. Vždyť – říkáte mouše – může popoletět (přesněji posunout své těžiště) o 3 metry doleva, 2,5 metru doprava, 2,236 metru nahoru nebo 1,195829 metru dolů, nebo... chápete, co chci říct. Protože se poloha mouchy může měnit spojitě, existuje nekonečně mnoho míst, kde by mohla spočinout. Když tohle všechno mouše vysvětlujete, fakticky si uvědomujete, že kromě polohy si moucha může vybírat z dlouhého seznamu možností i rychlost. V jedné chvíli může být zde a pohybovat se rychlostí jednoho kilometru za hodinu doprava. Nebo může letět doleva rychlostí půl kilometru za hodinu, nebo nahoru čtvrt kilometru za hodinu, nebo dolů 0,349283 kilometru za hodinu a tak dále. Třebaže je její rychlost omezena řadou faktorů (včetně energie, kterou disponuje, protože čím rychleji letí, tím více energie musí spotřebovat), tato rychlost se může spojitě měnit – představuje tedy ještě jeden zdroj nekonečné rozmanitosti.

Mouchu je těžké přesvědčit. „Jsme na stejné frekvenci, když mluvíš o popoletění o centimetr, půl centimetru nebo i čtvrt centimetru,“ tyká vám. „Ale jakmile hovoříš o polohách, které se liší o desetitisíciny nebo statisíciny centimetru či ještě o míň, tak se ztrácím. Intelektuál je může považovat za různá místa, ale přičí se zdravému rozumu, když říkáš, že *zde* a miliardtinu centimetru nalevo *odtud* jsou různá místa. Takto nepatrné změny polohy vnímat neumím, a proto je nepovažuji za různá místa. Totéž platí pro rychlosti. Můžu rozeznat rozdíl mezi rychlostí kilometr za hodinu a polovinou této rychlosti. Ale rozeznat rozdíl mezi 0,25 kilometru za hodinu a 0,249999999 kilometru za hodinu? To fakt ne. To jenom nějaká vyštudovaná moucha by mohla tvrdit, že takový rozdíl rozpozná. Nedokáže to však žádná z nás. Podle mě jsou to stejné rychlosti. Počet možností je mnohem menší, než to líčíš.“

Moucha zmínila důležitou myšlenku. V principu může zaujímat nekonečnou paletu poloh a nabýt nekonečné spektrum rychlostí. Existuje však praktický limit jemnosti, s jakou lze polohu nebo rychlost měnit, než začne být změna zcela nepozorovatelná. To je pravda i v případě, že moucha disponuje nejlepším technickým vybavením. Vždycky existuje nějaká mezní změna polohy i rychlosti a změny ještě menší zkrátka nelze zaregistrovat. Byť by

byly tyto nenulové přírůstky sebemenší, radikálně zužují paletu možností toho, co lze vnímat.

Dosahují-li například nejmenší zaznamenané přírůstky polohy setiny centimetru, potom každý centimetr nenabízí nekonečné spektrum možných poloh, ale pouze sto. Každý krychlový centimetr by tedy obsahoval $100^3 = 1\,000\,000$ možností, zatímco vaše průměrná ložnice by jich měla 100 bilionů. Je těžké říct, zda by moucha považovala toto pole možností za dostatečně impozantní, aby vám přestala bzučet u ucha. Poučením každopádně je, že *jakékoli měření kromě dokonale přesného omezuje počet možností z nekonečného na konečné*.

Mohli byste namítnout, že neschopnost rozlišit mezi extrémně podobnými polohami nebo zaznamenat malinké změny rychlosti není nic více než jen technické omezení. Pokrok v přesnosti přístrojů nelze zastavit, a proto bude narůstat i počet pozic a rychlostí, které může dobře sponzorovaná moucha rozlišit. Na tomto místě se ale musím odvolat na základy kvantové teorie. Kvantová mechanika v jistém přesném smyslu opravdu a fundamentálně *omezuje* přesnost libovolného konkrétního měření a toto omezení nelze překonat nikdy, ať už dojde k jakkoli závažnému technickému pokroku. Toto omezení vyvěrá z ústředního zákona kvantové mechaniky, *principu neurčitosti*.

Tento zákon zaručuje, že ať použijete jakékoli přístroje a metody ke zvýšení přesnosti měření jedné z veličin, vždycky to nevyhnutelně něco stojí: zákonitě omeзите přesnost, s jakou můžete měřit komplementární či partnerskou veličinu. Nejznámějším příkladem je skutečnost, že čím přesněji měříte pozici objektu, tím méně přesně můžete měřit jeho rychlost, a naopak.

Klasická fyzika, tedy fyzika, kterou podvědomě používáme při intuitivním chápání světa kolem nás, toto omezení vůbec nezná. Dostatečnou analogii však naleznete, když se pokusíte zlomyslnou mouchu vyfotografovat. Při krátké expoziční době získáte ostrý snímek, který přesně zachycuje její polohu v momentu, kdy jste stiskli spoušť. Ale kvůli ostrosti snímku se moucha zdá být v klidu: obrázek nepodává žádnou informaci o její rychlosti. Zvolíte-li delší expoziční dobu, rozmazaný obrázek nám napoví více o rychlosti mouchy, ale taková rozmazanost zase zmenší přesnost, s jakou můžete určit její polohu. Nemůžete nafotografovat snímek, z něhož lze vyčíst přesnou informaci o poloze i rychlosti zároveň.

Matematikou kvantové mechaniky vyjádřil Werner Heisenberg nejmenší možnou nepřesnost, s jakou lze polohu a rychlost měřit. Nevyhnutelné nepřesnosti říkají fyzici neurčitost. Pro naše účely lze výsledek formulovat obzvláště užitečným způsobem. Stejně jako ostrá fotografie vyžaduje krátkou expoziční dobu, ukazuje Heisenbergova matematika, že přesnější měření polohy objektu vyžaduje „sondu“ o vyšší energii. Rozsvítíte-li lampu na nočním stolku, výsledná sonda – rozptýlené světlo o nízké energii – vám umožní vidět přibližný tvar nohou a očí mouchy; osvětlíte-li ji fotony vyšší energie, jako je

rentgenové záření (a omezíte-li dobu, po niž je zdroj paprsků zapnut, abyste mouchu neuškvařili), jemnější rozlišení ukáže miniaturní svaly, umožňující mouše mávat křídly. Dokonalé rozlišení podle Heisenberga však vyžaduje sondu s nekonečnou energií a takovou získat nelze.

Podstatný závěr je tedy nasnadě. Klasická fyzika vyjasňuje, že dokonalého rozlišení nelze docílit v praxi. Kvantová mechanika jde ještě dále a uzákoňuje, že dokonalého rozlišení nelze docílit ani v principu. Domníváte-li se, že rychlost i polohu objektu – ať už mouchy nebo elektronu – změníte o dostatečně malé hodnoty, pak si podle kvantové mechaniky představujete něco nesmyslného. Změny natolik malé, že nemohou být změřeny, dokonce ani v principu, nejsou změny vůbec žádné.¹³

Stejnými úvahami, jakými jsme si předkvantově rozebrali mouchu, lze ukázat, že omezené rozlišení nutně redukuje počet možností pro polohu a rychlost libovolného objektu z nekonečného čísla na konečné. A protože je omezené rozlišení vepsáno tučným písmem a černým kvantovým inkoustem do sbírky nejdůležitějších fyzikálních zákonů, je tato redukce počtu možností na konečné číslo nevyhnutelná a nevyvratitelná.

Vesmírné reprízy

Dost už o mouchách v ložnici. Podívejme se teď na větší oblast prostoru. Představte si oblast o velikosti shodné s dnešním kosmickým horizontem, tedy sféru o poloměru 41 miliard světelných let – oblast o velikosti záplaty v kosmické dece. A tuto oblast nezabudeme mouchami, ale částicemi hmoty a záření. Pak otázka zní: Kolika různými způsoby se mohou částice uspořádat?

Stejně jako v případě stavebnice Lego platí, že čím více kostiček máme – čím více hmoty a záření můžeme do oblasti nacpat –, tím vyšší bude počet možných uspořádání. Ale cpát částice do prostoru nelze bez omezení. Částice nesou energii a více částic nese více energie. Jestliže oblast prostoru obsahuje energie přespříliš, zkolabuje pod svou vlastní tíhou a vytvoří černou díru.* A budete-li se snažit do takto vzniklé černé díry vměstnat ještě více hmoty a energie poté, hranice černé díry (její *horizont události*) se tím zvětší a obklopí větší prostor. Existuje proto omezení toho, kolik vůbec hmoty a energie se může vměstnat do oblasti prostoru o dané velikosti. Pro oblast tak velkou jako dnešní kosmický horizont je tato maximální hmotnost přímo kolosální (asi 10^{53} kilogramů). Ale velikost této horní hranice není klíčová. Klíčový je fakt, že nějaké omezení *existuje*.

* O černých dírách se dozvíte víc v dalších kapitolách. Na tomto místě se spokojte s dobře známým faktem, který už pronikl i do všeobecného povědomí, totiž že černá díra je oblast prostoru – představte si kouli –, jejíž gravitační přitažlivost je tak silná, že nic, co překročilo její hranici, už z ní neunikne ven. Čím větší je hmotnost černé díry, tím větší černá díra je, takže když do ní padají předměty, roste tím nejen její hmotnost, ale i její poloměr.